

**ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES DE
CONCRETO FABRICADOS CON AGREGADOS RECICLADOS**

LUIS ENRIQUE GARCÍA AMÚ

JUAN MANUEL GARCÍA CALDERÓN



UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

SANTIAGO DE CALI 2012

**ANÁLISIS TÉCNICO PARA LA ELABORACIÓN DE BLOQUES DE
CONCRETO FABRICADOS CON AGREGADOS RECICLADOS**

LUIS ENRIQUE GARCÍA AMÚ

JUAN MANUEL GARCÍA CALDERÓN

Trabajo de Grado para optar al título de

INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR

HAROLD CÁRDENAS, M.Sc

INGENIERO CIVIL



UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

SANTIAGO DE CALI 2012

NOTA DE ACEPTACIÓN

Profesor Harold Cárdenas, M.Sc.
Ing. Directores de Tesis

Profesor Armando Orobio, Ing.
Jurado

Profesora Sandra Liliana Cano, Ing.
Jurado

DEDICATORIA

Este trabajo de grado va dedicado a mis padres quienes lucharon día a día para que yo pudiese alcanzar este logro, me dieron la fuerza necesaria para que en momentos difíciles tomara las decisiones correctas y lograra alcanzar el éxito.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para terminar estos estudios.

A todos los maestros de la UNIVALLE que me asesoraron, porque cada uno, con sus valiosas aportaciones, me ayudó a crecer como persona y como profesional.

Agradezco al ingeniero Harold Cárdenas y al profesor Jorge Correa, por permitirnos trabajar en este trabajo de investigación.

A mi compañero de tesis por brindarme su amistad incondicional y permitirme hacer partícipe de este trabajo de investigación.

LUIS ENRIQUE GARCIA AMU

DEDICATORIA

Este trabajo de grado va dedicado a mis padres por creer ciegamente en mí, y por darme lo mejor de sí día tras día. A mis hermanas y a todos mis familiares y amigos que vieron desde un principio, un Ingeniero en potencia.

Este trabajo es para ti, Melba Calderón Arias.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la sabiduría, entendimiento, perseverancia y salud para llegar hasta este día.

Agradezco a mis Padres y hermanos, por darme de corazón, todo lo necesario para culminar esta empresa.

Agradezco a las familias Serna, Marmolejo, España y Castillo, por aportar su granito de arena.

Agradezco al Ingeniero Harold Cárdenas por darme la posibilidad de trabajar con él, de aprender y de sentirme un verdadero Ingeniero.

Gracias, de todo corazón, a mi compañero de Tesis, por ser mi apoyo y mi bastón cuando más lo necesité.

JUAN MANUEL GARCÍA CALDERÓN

CONTENIDO

RESUMEN.....	16
ABSTRACT	17
INTRODUCCIÓN	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2 ALCANCES Y LIMITACIONES	20
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	21
1.5 OBJETIVOS	21
1.5.1 OBJETIVO GENERAL	21
2. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 ANTECEDENTES.	22
2.2 MATERIALES	25
2.2.1 LOS ESCOMBROS.	25
2.2.2 LOS AGREGADOS.	26
2.2.3 EL CEMENTO.....	27
2.2.4 EL CONCRETO	28
2.3 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES	29
3. METODOLOGÍA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	30
3.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	30
3.1.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	30
3.1.2 TRABAJO EXPERIMENTAL (CAMPO Y LABORATORIO).....	30
3.2 MAQUINARIA Y EQUIPOS	31

3.2.1 TRITURADORA	31
4. PRODUCCIÓN DE LOS AGREGADOS RECICLADOS	33
4.1 OBTENCIÓN DE AGREGADOS.....	33
4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	34
4.2.1 TAMIZADO DE MATERIALES GRANULADOS (AGREGADOS O ÁRIDOS).....	35
4.2.1.1 GRANULOMETRÍA IDEAL.....	36
4.2.1.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
4.2.2 MÉTODO PARA DETERMINAR LA MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS.	37
4.2.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	38
4.2.3 MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO APROXIMADO DE MATERIA ORGÁNICA EN ARENAS USADAS EN LA PREPARACIÓN DE MORTEROS U HORMIGONES.	38
4.2.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	39
4.2.4 MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS....	39
4.2.5 MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y LA ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS.	40
5. DISEÑO DE MEZCLA.....	41
5.1 MÉTODO DE DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS	41
5.1.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO.....	42
5.1.1.1 Diseño de la mezcla por el Método ACI	45
5.2 ELABORACIÓN DE MUESTRA CÚBICAS	48
Los valores estadísticos son los siguientes,	49
5.2.1 Proyección de edades en las muestras	51
5.2.1.1 Proyección a la edad de tres (3) días	51
5.2.1.2 Proyección a la edad de Siete (7) días	52
5.2.1.3 Proyección a la edad de Catorce (14) días	52
5.2.1.4 Análisis de resultados	52

6. PRODUCCIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO CON AGREGADOS RECICLADOS	53
6.1 FABRICACIÓN.....	53
6.1.1 Dosificación.	54
6.1.2 Mezclado.	54
6.1.3 Moldeado.	55
6.1.4 Fraguado.....	57
6.1.5 Curado.	57
6.1.6 Almacenamiento.	58
6.2 MAQUINARIA UTILIZADA.....	58
6.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN	59
6.3.1 CAPINADO DE BLOQUES.	64
6.3.1.1 PROCEDIMIENTO	64
6.4 ENSAYOS Y RESULTADOS	65
6.4.1 ENSAYO A COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE CONCRETO	66
6.4.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS BLOQUES	68
6.4.2 ABSORCIÓN Y DENSIDAD	68
7. CONCLUSIONES	69
8. RECOMENDACIONES	71
9. BIBLIOGRAFÍA.....	73
10. ANEXOS.....	75
Anexo No.1 Resultados de caracterización de los agregados.....	76
Anexo No.2 Análisis de Precios Unitarios para un Bloque con agregados reciclados	81

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 2.1- Espesores mínimos de las paredes de los tabiques.	23
Tabla 2.2- Resistencia a la compresión, absorción de agua y clasificación de peso	25
Tabla 4.1. Granulometría de agregados reciclados.	35
Tabla 4.2- Masa unitaria compacta.	38
Tabla 4.3- Densidades agregados.....	40
Tabla 4.4- Absorción de los agregados gruesos.	40
Tabla 5.1- Elección del tamaño máximo nominal del agregado.	42
Tabla 5.2- Asentamientos permitidos.....	43
Tabla 5.3- Relación agua/cemento.....	43
Tabla 5.4- Estimación del contenido de agregado grueso.	44
Tabla 5.5- Resultados arrojados por ensayos.	45
Tabla 5.6. Estimación del contenido de agregado fino.	47
Tabla 5.7- Pesos de materiales por unidad de volumen.	48
Tabla 5.8- Resistencia ideal a diferentes edades.....	49
Tabla 5.9- Valores estadísticos	49
Tabla 5.10- Resistencia Ideal a diferentes edades.....	50
Tabla 6.1- Características de Máquina Vibrobloquera	59
Tabla 6.2- Resumen de las propiedades mecánicas	68

CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1- Escombros de concreto.	33
Ilustración 2- Proceso de trituración	34
Ilustración 3- Curvas granulométricas.	36
Ilustración 4. Prueba de contenido de materia orgánica	39
Ilustración 6- Resistencia de las muestras cúbicas.	50
Ilustración 7- Resistencia Ideal.....	51
Ilustración 8- Máquina fabricadora de bloques.	58
Ilustración 9- Materiales antes de mezclarlos.....	60
Ilustración 10- Proceso de mezcla.....	60
Ilustración 11- Incursión de mezcla en máquina fabricadora de bloques.	61
Ilustración 12- Proceso de desmolde de bloques.....	62
Ilustración 13- Producto final.....	62
Ilustración 14- Proceso de fraguado de los bloques.....	63
Ilustración 15- Proceso de curado.....	63
Ilustración 16- Base para capinar.	64
Ilustración 17- Bloques capinados.....	65
Ilustración 18- Bloque de concreto estructural.....	65
Ilustración 19- Máquina Universal	66
Ilustración 20. Bloque en el momento del ensayo	67
Ilustración 21- Bloques en el momento de la ruptura	67

GLOSARIO

Las palabras más usadas en este trabajo y las cuales requieren para un mejor entendimiento del lector, alguna explicación breve, son las siguientes:

ABSORCIÓN: Cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en ésta, expresada como un porcentaje de la masa seca.

BIODEGRADABLE: Es la sustancia que se descompone o desintegra con cierta rapidez en un medio orgánico.

CEMENTO: Se conoce con el nombre de cemento a la mezcla fabricada con piedra caliza y arcilla. Es de color ligeramente grisáceo. Se usa para la obtención de mortero y hormigón.

CONTAMINACION AMBIENTAL: Alteración nociva del estado natural de un medio como consecuencia de la introducción de un agente contaminante, causando inestabilidad, desorden, daño o malestar en un ecosistema, en el medio físico o en un ser vivo.

CONTENIDO DE HUMEDAD: Es la cantidad de agua presente en un elemento en el momento de evaluarlo, expresado por lo general como un porcentaje del peso del bloque secado al horno.

DENSIDAD: Es la relación entre el volumen bruto y el peso de una unidad de bloque de un elemento.

DENSIDAD NOMINAL: Es la relación que hay entre la masa del material (peso en estado seco) y el volumen que ocupan las partículas de ese material (volumen del material neto incluidos los poros no saturables).

DENSIDAD APARENTE: Es la relación existente entre la masa del material (peso en estado seco) y el volumen ocupado por la masa (volumen de los poros saturables y no saturables). Esta densidad es la más importante, debido

a que se puede determinar la cantidad en peso del agregado requerido para un volumen unitario de hormigón.

ESCOMBROS DE CONSTRUCCIÓN: Conjunto de desechos y materiales de construcción que resultan de una obra o demolición.

HORMIGÓN: Mezcla de cemento, arena, triturado, agua y algunas veces un aditivo para cambiar su propiedad, que tiene diversas funciones en la construcción. También es conocido como concreto.

ICPC: Instituto Colombiano de Productores de Cemento.

MAMPOSTERÍA: Sistema de elementos apilados, ensamblados o unidos con un mortero u otro material similar, con el fin de conformar muros que posean, hasta cierto punto, las características de sus elementos.

MORTERO: Es la mezcla de materiales cementantes constituidos por cemento, arena, cal y agua, con la finalidad de unir los elementos constructivos entre sí.

NTC: Normas Técnicas Colombianas.

PESO ESPECÍFICO: Peso por unidad de volumen del agregado.

PESO ESPECÍFICO APARENTE SECO: Es la relación entre el peso en el aire del agregado seco y el volumen de las partículas incluyendo sus poros naturales.

PESO ESPECÍFICO APARENTE SATURADO: Relación entre el peso en el aire del agregado saturado y seco superficialmente y el volumen de las partículas incluyendo sus poros naturales.

PESO UNITARIO DEL AGREGADO SATURADO Y DE SUPERFICIE SECA: Relación entre el peso en el aire, del volumen formado por las partículas del agregado con sus poros saturados de agua, y el peso de igual volumen de agua destilada, libre de gas a la misma temperatura.

RCD: Residuos de Construcción y Demolición, también llamados residuos inertes y conocidos habitualmente como escombros. Son aquellos que se generan en las actividades propias de construcción, remodelación, rehabilitación, reforma, demolición y mantenimiento de edificios o infraestructuras en general.

RECICLAJE: Proceso mediante el cual se vuelve a utilizar los materiales desechados en una actividad industrial o constructiva. Puede ser con la obtención de un producto igual o similar a la materia prima (caso del vidrio, el plástico, el papel y todos los metales) o con la obtención de un producto distinto a la materia prima (como los materiales cerámicos, el hormigón, los materiales pétreos y los materiales bituminosos).

RESIDUOS: Desechos contaminantes provenientes de una actividad humana, pueden ser biodegradables o no biodegradables.

REUTILIZACIÓN. Consiste en el uso de un producto para el mismo fin para el que fue diseñado originalmente, sin que sufra ningún tipo de transformación. Es el caso de los materiales cerámicos, la madera de buena calidad y el acero estructural.

RESUMEN

El presente trabajo investigativo, contiene los parámetros técnicos para la elaboración de bloques de concreto, a partir de agregados reciclados de escombros de concreto, cumpliendo con las especificaciones requeridas por las normas NTC.

La elaboración de dicho bloque se inicia con la recolección de escombros generados por las pruebas mecánicas que se realizan a menudo en el edificio de Ingeniería Civil en la ciudad Universitaria Meléndez, para luego ser triturado. Dicha trituración debe garantizar una granulometría similar a la recomendada por el Instituto Colombiano de Productores de Cemento ICPC, para la fabricación de bloques de concreto.

De manera simultánea, se elaboró el Diseño de Mezclas acorde con lo estipulado por el ACI (American Concrete Institute). Posterior a esto, se hicieron pruebas de laboratorio para determinar las propiedades Físico-mecánicas que permitan optimizar el diseño de mezcla con un 100% de agregado reciclado.

Con el Diseño de Mezcla optimizado, se procede a elaborar los bloques de concreto, para luego realizar los ensayos de compresión y absorción, y determinar su viabilidad dentro de un proceso constructivo.

Palabras claves: Bloques de Concreto, Agregado, Escombros, Diseño de Mezcla, Reciclaje.

ABSTRACT

This research work, contains the technical parameters for the production of concrete blocks, from aggregates of debris concrete, meeting the specifications required by the NTC.

The development of this blocks begins with the collection of debris generated by the mechanical tests are often performed in the building of Civil Engineering at the University City Melendez, only to be crushed. This should ensure grain crushing similar to that recommended by the Colombian Institute of Cement Producers ICPC, for the manufacture of concrete blocks.

Simultaneously, the design was developed in accordance with the requirements mixtures in our research, meeting the standards set by the ICA. Following this, laboratory tests were performed to determine the physical and mechanical properties to optimize the mix design with 100% recycled aggregate.

With the optimized mix design, we proceed to develop them concrete blocks and then perform the compression and absorption tests, and determine their viability within a constructive process.

Keywords: Concrete Blocks, Aggregate, Rubble, Mix Design, Recycling.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de reciclaje de los residuos de construcción no solamente concierne a las comunidades más industrializadas, sino también a una demanda global con diferentes prioridades. Muchos países, que van desde los más industrializados como Holanda o Dinamarca, a otros en vías de desarrollo como Bangladesh, experimentan a partir de estas prácticas el ahorro de recursos naturales. Incluso países como Kuwait se dieron cuenta de sus demandas para comenzar a aplicar técnicas de reciclaje. En este último país, tras la ocupación de 1990 – 1991, se viene dando un especial incremento del tratamiento y reciclaje de grandes cantidades de residuos de la construcción. Esta demanda de reciclaje de materiales es común en todos los lugares donde los edificios y las instalaciones han sido dañados a causa de guerras, terremotos u otros desastres naturales.

Desde el punto de vista ambiental, el reciclaje de escombros es bastante atractivo porque aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios y evita la degradación de recursos naturales no renovables; pero, desde el punto de vista netamente económico, el concreto reciclado resulta atractivo cuando el producto es competitivo con otros materiales en relación al costo y a la calidad. Los materiales reciclados son normalmente competitivos donde existe dificultad para obtener materias primas y lugares de depósito adecuados. Con el uso de los materiales reciclados, se pueden obtener grandes ahorros en el transporte de residuos de la construcción y de materias primas. Esto se puede notar especialmente en las áreas urbanas o en los proyectos de construcción donde se pueden reunir la demolición y la nueva obra, también donde es factible reciclar una gran cantidad de escombros en el mismo lugar de trabajo o en las cercanías [5].

El reciclaje de residuos de la construcción, ha sido de interés en grandes proyectos relativos a la rehabilitación y reconstrucción después de desastres o guerras, pero también debe serlo en lugares como el nuestro, pues son muchas las porciones de paisaje que se han ido perdiendo debido a la

extracción de materias primas para la confección de materiales para la construcción, como también los problemas de su vertido, que afectan no sólo lo estético, sino la vida útil de los rellenos sanitarios y, por consiguiente, las condiciones de habitabilidad urbana.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Pese a que los residuos de construcción y demolición RCD, comúnmente llamados escombros, ocupan gran parte del porcentaje de residuos propios del ser humano, han sido siempre considerados de menor importancia frente a otros residuos como los domiciliarios, quizás por ser teóricamente inertes y, por lo tanto, fácilmente eliminables [4].

Aunque como se dijo antes, los escombros son eliminables de manera sencilla, no podemos dejar a un lado la opción de recuperar estos residuos, de darles un buen tratamiento, y aportar, de manera sostenible al medio ambiente, tema que en la actualidad y por motivos que se saben de sobra, ha cogido mucho auge.

La composición de los escombros es muy variada. Aunque se piensa, que contiene en grandes porcentajes, materiales como ladrillo, cemento, arena, grava, gravilla, recebo, acero y madera, en algunos casos se pueden encontrar fracciones de plásticos, materia orgánica y papeles, lo que hace que dichos residuos, sean bastante heterogéneos y algo complejo de manejar. En términos generales, se puede decir que el escombro está compuesto por un 20% de hormigón, un 50% de material de albañilería (cerámico, escayolas, etc.), un 10% de asfalto y un 20% de otros elementos, como los ya mencionados; aunque puede variar según las costumbres y el grado de desarrollo de los generadores de residuos [6].

La Producción Per Cápita PPC (Kg/hab/día) es fundamental para tratar de establecer alternativas de disposición de residuos. En Colombia, la PPC media estimada es 0.5 kg/hab/día, variando de 1 kg/hab/día en las grandes ciudades hasta 0.2 kg/hab/día en poblaciones con menor número de habitantes. Tan solo en Bogotá la producción superaba, hacia 1995, las 5,000 toneladas/día, lo cual representa casi el 28% de la producción de residuos de toda Colombia [6].

Los residuos producidos durante el desarrollo de una obra civil tienen cuatro alternativas de disposición final: Reutilización, Reciclaje, Disposición en una escombrera autorizada por las autoridades distritales y el relleno sanitario para los residuos ordinarios que no se puedan aprovechar.

1.2 ALCANCES Y LIMITACIONES

El presente trabajo de grado se desarrolla en el marco de un grupo de investigaciones enfocadas hacia los materiales que se pueden reciclar en los diferentes procesos de construcción, para de esta forma contribuir con un desarrollo sostenible.

En el desarrollo de esta investigación se fabricara un bloque de concreto que cumpla con las Normas Técnicas Colombianas NTC establecidas para los bloques de concreto, a partir de escombros de concreto provenientes de la construcción.

Se presenta una metodología adecuada para la producción de bloques de concreto teniendo en cuenta que este puede ser producido a grandes y pequeñas masas, en la construcción de viviendas de interés social hasta edificaciones comerciales e industriales.

Vale la pena aclarar que el objetivo de la presente investigación es determinar si los bloques con agregados reciclados cumplen con las Normas Técnicas Colombianas y no su viabilidad económica.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La gran incógnita que tenemos por resolver es la siguiente:

¿Cómo obtener un bloque de concreto con agregados reciclados que cumpla con las especificaciones requeridas por las NTC?

1.4 JUSTIFICACIÓN

Una gran cantidad de escombros producto de la demolición de estructuras son producidos anualmente en los países desarrollados, en que los depósitos de escombros derivados de la actividad de la construcción, ha llegado a ser un serio problema social y ambiental para las ciudades, debido a la necesidad de disponer terrenos para su vertimiento, como también el alto costo que implica su manejo. La necesidad de reciclar los escombros que produce la industria de la construcción está tomando, hoy en día, gran importancia.

En la recuperación y reciclado de residuos de construcción y demolición un aspecto fundamental a tener en cuenta, es el hecho de que concurren intereses económicos y medioambientales en el mismo punto. El desafío para el futuro es, por tanto, conseguir compatibilizar el desarrollo económico de la sociedad con la preservación del medio ambiente que la sustenta; es lo que se conoce como *desarrollo sostenible*. En este sentido son prioritarias todas las actividades recuperadoras y recicladoras [2].

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar las propiedades físico-mecánicas básicas de los bloques de concreto fabricados con agregados reciclados provenientes del concreto.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES.

De acuerdo con algunas investigaciones, los hallazgos más antiguos de los que se tiene conocimiento sobre el uso de mezclas cementantes datan de los años 7.000 a 6.000 a. C., cuando de las regiones de Israel y la Antigua Yugoslavia, respectivamente, se encontraron vestigios de los primeros pisos de concreto a partir de calizas calcinadas [7].

Seguido de estos hechos, y hace 5.000 años en el norte de Chile, se vieron algunos rastros de obras de piedra unidas por un conglomerante hidráulico procedente de la calcinación de algas. Esta obra formaba parte de las paredes de las chozas utilizadas por los indios.

Posteriormente, cerca del año 2.500 a. C, se emplearon mezclas de calizas y yesos calcinados para pegar los grandes bloques de piedra que se utilizaron para la construcción de las Pirámides de Giza en Egipto [8].

En diversos lugares y desde aquellos tiempos remotos ya mencionados, se observó un proceso, aunque algo lento, de cómo las sociedades pensantes buscaban la forma de construir, de hallar elementos que le sirvieran para suplir necesidades como la construcción de viviendas, caminos que unieran dos poblaciones lejanas y demás infraestructuras importantes.

Dichos avances hicieron que para el siglo XI a. C., los romanos dieran un paso importante al descubrir un cemento que fabricaban mezclando cenizas volcánicas con cal viva. En Puteoli, conocido hoy como Pozzuoli, se encontraba un depósito de estas cenizas, de aquí a que a este cemento se le llamase "Cemento de Pozzolana". Esta mezcla fue empleada para la construcción del Teatro de Pompeya en el año VII a. C.

Con hormigón construye Agripa en el año 27 antes de J.C. el Panteón en Roma, que sería destruido por un incendio y reconstruido posteriormente por Adriano en el año 120 de nuestra era y que, desde entonces, desafió el paso

de tiempo sin sufrir daños hasta el año 609 se transformó en la iglesia de Santa María de los Mártires. Su cúpula de 44 metros de luz está construida en hormigón y no tiene más huecos que un lucernario situado en la parte superior.

Actualmente en Colombia la fabricación de bloques de concreto se rige particularmente por la norma NTC 4026 (Bloques y Ladrillos de concreto para mampostería estructural), la cual tiene como requisitos básicos:

DIMENSIONALES

Unidades perforadas

El espesor de pared (ep) y el espesor de tabique (et) de las unidades de mampostería perforadas verticalmente (bloques), deben cumplir lo establecido en la siguiente tabla:

Espesor nominal de las unidades (en)	Espesor de pared (ep)	Espesor de tabique (et)	Espesor de tabique equivalente (ete)
mm	Mínimo ^A, mm	Mínimo^B, mm	Mínimo, mm/mm^C
80	20	20	0.150
100	20	20	0.150
120	22	20	0.165
150	25	25	0.188
200	30	25	0.188
250	35 (32 ^D)	30	0.225
300	40 (32 ^D)	30	0.225

Tabla 2.1- Espesores mínimos de las paredes de los tabiques.

A – Promedio de las mediciones en tres unidades, tomadas en el punto más delgado, nunca debe ser menor de 20 mm.

B – Promedio de las mediciones en tres unidades, tomadas en el punto más delgado, el espesor mínimo del tabique para unidades con tabiques que estén separados menos de 25 mm entre tabiques debe ser de 20mm.

C – Suma de los espesores de tabique medidos en todos los tabiques de una unidad, dividido por la longitud nominal de la unidad. El espesor de tabique equivalente no es aplicable a la porción de la unidad que se va a rellenar con mortero de inyección, por lo cual la longitud de esa parte de la unidad se descuenta de la longitud de la misma.

D – Este espesor de pared (ep) se aplica donde la carga de diseño admisible se reduce en proporción a la reducción de los espesores de pared a partir de los espesores básicos enumerados, excepto para las unidades totalmente rellenas con mortero de inyección, para las cuales la carga de diseño admisible no se debe reducir.

UNIDADES SÓLIDAS

El área neta transversal de las unidades sólidas, en cada sección transversal, no debe ser menor que el 75% del área bruta transversal, medida en el mismo plano.

TOLERANCIAS

La tolerancia es $\pm 2\text{mm}$ para la longitud, y en no más del 1% para el espesor y la altura.

Cuando se tienen unidades con acabados arquitectónicos como ranuras, estrías, proyecciones, etc., no deben diferir de las normales en 2mm.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Las unidades de mampostería deben cumplir con los requisitos de resistencia a la compresión establecidos en la siguiente tabla:

Resistencia a la compresión a los 28 d (R_{c28}) ^a , evaluada sobre el área neta promedia (A_{np})			Absorción de agua (A_a) % según el peso (densidad) del concreto secado en horno, kg/m ³		
Mínimo ^b , Mpa			Promedio de 3 unidades, máximo, %		
Clase	Promedio de 3 UND	Individual	Peso liviano, menos de 1680 kg/m ³	Peso mediano de 1680 kg/m ³ hasta menos de 2000 kg/m ³	Peso normal, 2000 kg/m ³ o más
Alta	13	11	15%	12%	9%
Baja	8	7	18%	15%	12%

Tabla 2.2- Resistencia a la compresión, absorción de agua y clasificación de peso

A –La resistencia a la compresión se ha especificado a los 28 d. sin embargo, las unidades se pueden utilizar a edades más tempranas, cuando exista un historial sobre la evolución de la resistencia de unidades de iguales características, y este indique que las primeras alcanzan dicha resistencia.

B – se puede especificar resistencias a la compresión mayores cuando lo requiera el diseño

2.2 MATERIALES

2.2.1 LOS ESCOMBROS.

Los escombros, en términos coloquiales, es cualquier residuo sólido propio de la actividad constructiva, de la realización de obras civiles o de otras actividades conexas complementarias o análogas. La generación de estos residuos, es tan antigua como el mismo hombre, estando presente en cualquier estilo de vida, estratificación social o entorno cultural.

2.2.2 LOS AGREGADOS.

Los agregados del concreto o agregados de la construcción, son componentes derivados de la trituración natural o artificial de diversas piedras, y pueden tener tamaños que van desde partículas casi invisibles hasta pedazos de piedra. Junto con el agua y el cemento, conforman el trío de ingredientes necesarios para la fabricación del concreto.

Los agregados pueden ser de piedra triturada, grava, arena, y demás materiales, mayormente compuestas de partículas individuales. Los agregados sirven como refuerzo para agregar fuerza al material compuesto total.

Generalmente se dividen en dos grupos: Los agregados finos, y los agregados gruesos. **Los agregados finos** consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10mm; mientras que Los agregados **gruesos**, también llamados gravas, son aquellas cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.

Sin embargo, en términos generales hay más variedad de agregados: los hay pesados (como la barita), que ofrecen alta densidad; ligeros (como la piedra pómez o la escoria volcánica) para concretos ligeros; y hay también otras categorías de gravas y arenas trituradas.

Los agregados conforman el esqueleto granular del concreto y son el elemento mayoritario ya que representan el 80-90% del peso total de concreto (y entre el 60 y el 75% del volumen), por lo que son responsables de gran parte de las características del mismo, influyendo notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido. Los agregados son generalmente inertes y estables en sus dimensiones.

2.2.3 EL CEMENTO

La palabra cemento define a un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas. Esta definición no sólo abarca los cementos propiamente dichos, sino una gran variedad de materiales aglomerantes como las cales, los asfaltos y los alquitranes.

El cemento convencional, conocido como Cemento Tipo Portland, usado y conocido mundialmente, se fabrica generalmente a partir de materiales minerales calcáreos, tales como caliza, alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla en la naturaleza. En ocasiones es necesario agregar otros productos para mejorar su composición química, siendo el más común el óxido de hierro.

Dicho Cemento, se puede clasificar según su uso en:

Tipo I: destinado a obras en general, que le exigen propiedades especiales.

Tipo II: destinado

a obras expuestas a la acción moderada de los sulfatos y a obras en donde se requiere moderado calor de hidratación.

Tipo III: desarrolla altas resistencias iniciales.

Tipos IV: desarrolla bajo calor de hidratación.

Tipo V: ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos

Según la naturaleza de sus componentes, los cementos pueden clasificarse en: Cemento Portland (ya mencionado anteriormente), Cemento hidráulico modificado con puzolana, Cemento hidráulico modificado con escoria, Cemento hidráulico de uso general y el Cemento de albañilería o para mortero. Aunque también se debe afirmar, que existen diversas modificaciones y de

manera opcional para desarrollar determinadas obras y para cumplir determinadas especificaciones.

2.2.4 EL CONCRETO

El Concreto es un conglomerado pétreo artificial, que se prepara mezclando una pasta de cemento y agua con arena y grava u otro material inerte a los que se les llama agregados [1].

La sustancia químicamente activa de esta mezcla es el cemento, la cual se une química y físicamente con el agua, y al endurecerse, liga a los agregados, para formar una masa sólida semejante a una piedra.

Dependiendo de las cantidades y proporciones de los materiales que se usan en dicha mezcla se pueden obtener distintos tipos de concretos, con distintas característica y capacidades de resistencia.

Los componentes del Concreto son: El cemento (ya mencionado en el presente documento), los agregados, tanto finos como gruesos (también mencionados) y el agua.

El agregado fino no debe presentar diámetros mayores a $\frac{3}{8}$ de pulgada, mientras que los gruesos, deberán presentar un diámetro no mayor a 3 pulgadas. Por otro lado, el agua a utilizar en la elaboración del Concreto, deberá estar exenta de nocivas de aceite, ácidos, álcalis y materias orgánicas.

Las propiedades y cualidades que debe presentar el Concreto una vez se termine la investigación, serán las siguientes:

Resistencia.

Capacidad del concreto de soportar cargas a flexión, compresión, tensión o al cortante. Los principales factores que determinan la resistencia son la relación agua/cemento, y la calidad o tipo de agregados.

Durabilidad.

Capacidad de la masa endurecida de resistir los efectos de los elementos, tales como la acción del viento, nieve, hielo, la reacción química de los suelos y los efectos de las sales y la abrasión. La durabilidad tiene una estrecha relación con el clima. A medida que aumente la relación de agua/cemento la durabilidad disminuye.

Impermeabilidad

Propiedad de un material de oponerse al paso de líquido o gas. Este es un requisito esencial en el concreto, ya que esta determina posibles filtraciones, es decir el paso del agua por el mismo.

2.3 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

Partiendo de la idea, de que Colombia no es un país con amplia visión ecológica en cuanto al manejo adecuado de los residuos producidos por la construcción o demolición, se plantean las siguientes hipótesis:

Fabricar un bloque de concreto que cumpla con las NTC establecidas, a partir de agregados reciclados provenientes de demoliciones hechas a estructuras de concreto.

Se debe encontrar un diseño de mezcla óptimo que permita su buen desempeño y cumplimiento de las NTC.

En esta investigación nos encontramos variables de tipo cuantitativo, como lo son:

- Granulometría de los agregados obtenidos a partir de la trituración de agregados reciclados.
- Relación Agua/Cemento del diseño de mezcla usado para la fabricación de bloques de Concreto.

- Resistencias mecánicas a compresión de cada bloque fabricado.
- Porcentaje (%) de absorción de cada bloque fabricado.
- Gravedad específica da cada bloque fabricado.

3. METODOLOGÍA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

Como fue mencionado anteriormente este es un proyecto de investigación encaminado a la búsqueda de un desarrollo sostenible basado en la aplicación de nuevas tecnologías en el ámbito de la construcción a partir de materiales reciclados.

Para lograr un desarrollo adecuado durante la investigación se definen las siguientes etapas:

3.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.1.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Mediante búsqueda en internet, asistencia a seminarios y cursos se obtuvo información correspondiente a técnicas y principios de construcción sostenible, enfocándose en la producción de materiales reciclados.

En esta etapa también se utilizaron como ayuda investigaciones anteriores en donde se tratara ampliamente el principio del reciclaje en la construcción.

Durante todo el desarrollo de la investigación se tuvo como base principal de consulta el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), y las Normas Técnicas Colombianas (NTC).

3.1.2 TRABAJO EXPERIMENTAL (CAMPO Y LABORATORIO)

Para el correcto desarrollo del trabajo de investigación se siguieron los siguientes pasos:

- En diferentes lugares del campus universitario se contaba con gran cantidad de escombros de distinta procedencia, por conveniencia se utilizaron los que se encontraban en el edificio 350-Ingeniería Civil, se seleccionaron y clasificaron sabiendo que para la investigación solo era necesario el agregado producido por el concreto.
- Luego se procedió a triturar el material para que este pudiera ser llevado al laboratorio con el objeto de determinar sus propiedades físicas de acuerdo con las normas NTC.
- Con las propiedades del agregado se procede a realizar un diseño de mezcla para bloques de concreto.
- Luego de tener las propiedades físicas del agregado y las proporciones óptimas para la mezcla, se realizaron una serie de muestras cúbicas para chequear la resistencia esperada.
- Teniendo un diseño de mezcla óptimo se procede a elaborar los bloques de concreto.
- Luego de tener los bloques fabricados se procede a identificar sus propiedades físicas de acuerdo con las normas NTC, enfocados particularmente en la NTC 4026 - UNIDADES (BLOQUES Y LADRILLOS) DE CONCRETO, PARA MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL.

3.2 MAQUINARIA Y EQUIPOS

3.2.1 TRITURADORA

Para obtener los agregados fue necesario triturar los escombros recolectados por medio de la trituradora de mandíbulas portátil, marca Massco Crusher de MSI Industries, Serie 1407, disponible en el laboratorio de la escuela de Ingeniería de Materiales, que cuenta con las siguientes características:

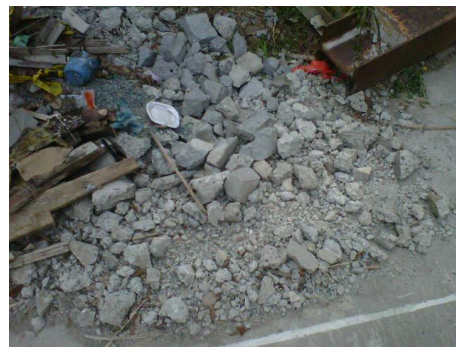
- Abertura de boca de alimentación con un tamaño de 4" x 6", con descarga graduable.
- Cuerpo monolítico fundido en acero especial resistente al impacto, montada en rodamientos y con timón para su desplazamiento.
- Las mandíbulas son de tipo graduable para obtener diversos tamaños del material.
- Quijadas y forros laterales reemplazables, fundidos en acero al manganeso con tratamiento térmico.
- Peso total de 240 kilogramos.
- Motor de 2 HP, mono o trifásico, con *swich* térmico de protección.
- Las dimensiones de la trituradora son: Largo: 80 cm. Ancho: 34 cm y con una Altura: 85 cm
- Rendimiento aproximado de 1-2 m³ / hora



4. PRODUCCIÓN DE LOS AGREGADOS RECICLADOS

Son componentes derivados de demoliciones hechas dentro del campus universitario, específicamente en el edificio de ingeniería civil.

Ilustración 1- Escombros de concreto.



4.1 OBTENCIÓN DE AGREGADOS.

Una vez obtenida la materia prima, se procedió a triturar con la maquinaria mostrada previamente en este informe, hasta buscar que el material dejado, granulométricamente hablando, esté acorde con los acuerdos estipulados por la NTC.

Como la trituradora permite moler el material solo hasta de 4", fue necesario el uso de una porra para un adecuado manejo del material, ya que el escombros se encontraba en tamaños muy grandes.

Para obtener el tamaño máximo de agregado deseado, se gradúa la abertura de la trituradora, que para este caso específico y siguiendo con la granulometría exigida para la fabricación de bloques de concreto, es de 3/8" (9,5 mm).

Vale recordar, que los agregados desempeñan un papel importante en la determinación de las propiedades y características finales de los bloques, tales como la durabilidad, la resistencia, la uniformidad y sus propiedades térmicas y acústicas. Por ende, buscamos que estos agregados fueran limpios, y libres de materia orgánica y de impurezas.

La siguiente imagen, muestra este proceso.



Ilustración 2- Proceso de trituración

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Es necesaria una caracterización física y mecánica adecuada de los agregados a utilizar en el diseño de la mezcla, por lo que es fundamental contar con la mayor cantidad de información de los agregados.

Para la caracterización adecuada de los agregados a utilizar, se siguieron las disposiciones de las Normas Técnicas Colombianas NTC, como sigue:

- **Tamizado de materiales granulados (agregados o áridos).**
- **Método para determinar la masa unitaria de los agregados.**
- **Método para determinar el contenido aproximado de materia orgánica en arenas usadas en la preparación de morteros u hormigones.**

- **Método para determinar la densidad y absorción de agregados gruesos.**
- **Método para determinar el peso específico y absorción de agregados finos.**

4.2.1 TAMIZADO DE MATERIALES GRANULADOS (AGREGADOS O ÁRIDOS)

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas que conforman los agregados, la cual se representa por la curva granulométrica que se obtiene haciendo pasar una muestra de los agregados por una serie de tamices normalizados. Graficando estos resultados, nos permite establecer una clasificación básica para los agregados.

Del análisis granulométrico es posible saber si existe exceso de algún tamaño dentro del agregado, el módulo de finura de estos y la distribución de los tamaños.

ABERTURA DEL TAMIZ		% Pasa Ideal	% Pasa Experimental
UK (Pul)	SI (mm)	(Peso)	(Peso)
1/2	12,5	100	100,00
3/8	9,5	100,0	100,00
4	4,75	75	70,50
8	2,36	60,0	55,75
16	1,18	45,0	41,75
30	0,6	30,0	32,00
50	0,3	15,0	16,00
100	0,15	5,0	7,25
200	0,074	3,0	4,25

Tabla 4.1. Granulometría de agregados reciclados.

4.2.1.1 GRANULOMETRÍA IDEAL

Para conseguir un comportamiento óptimo de los agregados, se deben conseguir granulometrías continuas, para obtener una mayor densidad en la mezcla y lograr piezas con superficies cerradas, de textura fina. Para la realización de los bloques de concreto se contó con la granulometría citada en las Notas Técnicas del ICPC No. 4-38-858.

Dicha granulometría, se muestra en la Tabla 4.1, donde también se detalla la granulometría arrojada por el agregado a utilizar.

Se adjunta la Curva granulométrica arrojada por la incursión de los datos dejados por el tamizaje. Dicha curva, que es una excelente ayuda para mostrar la granulometría de los agregados individuales y combinados, y es la siguiente:

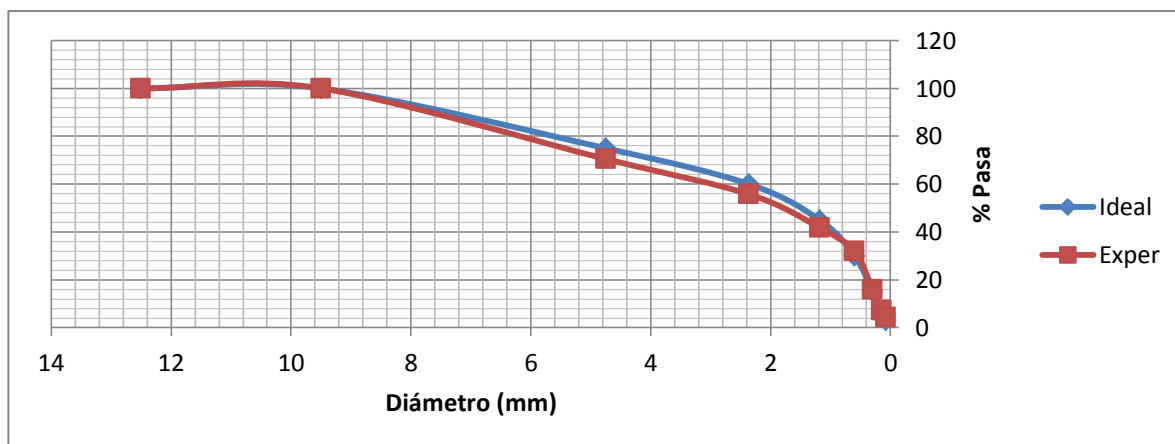


Ilustración 3- Curvas granulométricas.

4.2.1.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez realizado el ensayo de granulométrico al material, se proceden a determinar el tamaño máximo, el tamaño máximo nominal a utilizar y el módulo de finura.

A partir de estos datos se obtuvo:

Tamaño Máximo: El tamaño máximo se define como la abertura del tamiz más pequeña por el cual pasa el 100% de los agregados, es decir el tamaño

máximo de la masa existente en el agregado y que sea compatible con las especificaciones de la estructura.

Tamaño Máximo Nominal: El tamaño máximo nominal se utiliza para definir el tamaño de las partículas más grandes del agregado en su mayor fracción. Se define como la abertura del tamiz siguiente, o mayor a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado sea igual o mayor al 15%.

Módulo de Finura: El módulo de finura es un parámetro empírico, utilizado para medir los grados de finura de un agregado; es un promedio logarítmico de la distribución de los diferentes tamaños de las partículas, donde la serie de tamices se encuentra en una relación de 1:2. A medida que su valor se acerca a cero (0,0) está indicando un agregado muy fino. De lo contrario, se pensará que es un agregado grueso.

La granulometría arrojada por el ensayo realizado, evidenció un comportamiento similar al establecido por la Norma ya mencionada. Vale la pena mencionar, que llegar a este resultado no fue fácil. Se debió calibrar la mandíbula de la trituradora varias veces, además de pasar el material de tres a cuatro ocasiones hasta llegar al tamaño ideal.

Complementando el análisis anterior, se puede mencionar que el primer estudio granulométrico, evidenció que el contenido de Finos era muy bajo. Por este motivo, nos dimos en la tarea de pasar nuevamente parte del material, por la trituradora, calibrada en su extensión mínima.

4.2.2 MÉTODO PARA DETERMINAR LA MASA UNITARIA DE LOS AGREGADOS.

La masa unitaria es el cociente entre el peso de la muestra y el volumen del recipiente donde esta albergado.

Este método es usado para determinar la masa del agregado que se necesita para llenar un molde de volumen conocido, para determinar los pesos de los

materiales; este procedimiento se realizó utilizando un molde metálico recomendado por la norma NTC 92 y una barra compactadora, la cual compactó el material en tres capas aproximadamente iguales, con 25 golpes en cada capa.

En este ensayo se debió usar una balanza con una exactitud de 0,1% respecto al material usado, una barra compactadora de acero y cilíndrica y un recipiente metálico.

El resultado dejado por este ensayo, se muestra a continuación,

AGREGADO	MASA UNITARIA COMPACTA (Kg/m³)
Concreto	1362,38 Kg/m ³

Tabla 4.2- Masa unitaria compacta.

4.2.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El valor arrojado por este ensayo, deja clasificado el agregado como un agregado normal.

4.2.3 MÉTODO PARA DETERMINAR EL CONTENIDO APROXIMADO DE MATERIA ORGÁNICA EN ARENAS USADAS EN LA PREPARACIÓN DE MORTEROS U HORMIGONES.

Se realiza para determinar el contenido de materia orgánica presente en los agregados finos, que pueden afectar sus propiedades mecánicas y alterara la mezcla y desempeño final.

Para aplicar este método, es necesario la utilización de dos reactivos: la solución de Hidróxido de Sodio (3%), y la solución normal de referencia.

Este ensayo empieza introduciendo en una probeta, 130cm³ del agregado obtenido por el método de cuarteo; luego se añade Hidróxido de Sodio agitándose hasta conseguir 200 cm³ aproximadamente, después de 24 horas de reposo se realiza la inspección.

A la explicación anterior, se le adjunta las siguientes imágenes



Ilustración 4. Prueba de contenido de materia orgánica

4.2.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez se realizó el procedimiento ya descrito, se vio que la muestra de material no tomó ningún color característico. Por este hecho, se pudo concluir que el agregado a utilizar no presenta un nivel de materia orgánica importante como para tomarlo en cuenta.

4.2.4 MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS

Con la realización de este ensayo a los agregados reciclados, se obtiene la densidad de las partículas gruesas. La Densidad es una propiedad del agregado

que lo relaciona directamente con la roca o material originario, es el cociente entre el peso y el volumen de una masa dada. Se tienen las siguientes densidades: la nominal (D_n) y la aparente (D_a). (Las definiciones de estas palabras se pueden encontrar en el Glosario, al inicio de este trabajo)

Los resultados de este ensayo se mostrarán a continuación,

	D_n	D_a
AGREGADO	6,142	7,000

Tabla 4.3- Densidades agregados.

Por su parte la absorción, que es cantidad de agua que penetra en los poros del elemento, expresada en unidades de masa/volumen o como un porcentaje del peso seco del bloque, del agregado, es la siguiente:

	Absorción
AGREGADO	2,38

Tabla 4.4- Absorción de los agregados gruesos.

4.2.5 MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y LA ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS.

Una vez se discriminó los agregados entre gruesos y finos, se procede a determinar la densidad y la absorción de estos últimos. Este método se realizó bajo una temperatura de 23° C, con variaciones de hasta 2° C, y una vez el material esté sumergido en agua, un tiempo mínimo de 24 horas.

La densidad es la masa por unidad de volumen. Los calificativos nominal o aparente, como ya se mencionó en este escrito, se refiere a la forma de tomar el volumen del cuerpo, pues las partículas de los agregados para el concreto tiene porosidad. Esa porosidad puede ser saturable o no saturable. Si se toma el volumen externo, el aparente, la densidad calculada será aparente; si del volumen aparente se elimina la porosidad saturable, la densidad se llama

nominal, y si además de la porosidad saturable se elimina la porosidad no saturable, el volumen resultante es de material puro, y por lo tanto el cociente de la masa y ese volumen será la masa, sin calificativos.

5. DISEÑO DE MEZCLA

El proporcionamiento de mezclas de concreto, o como se conoce comúnmente diseño de mezclas, es un proceso que consiste de pasos dependientes entre sí, que busca la selección de los ingredientes convenientes (cemento, agregados, agua y aditivos), con el fin de obtener los mejores resultados y producir, tan económico como sea posible, un concreto de trabajabilidad, resistencia a compresión y durabilidad apropiada [3].

Estas proporciones dependerán de cada ingrediente en particular, los cuales a su vez dependerán de la aplicación particular del concreto. También podrían ser considerados otros criterios, tales como minimizar la contracción y el asentamiento o ambientes químicos especiales.

Existen diferentes métodos de Diseños de Mezcla; algunos pueden ser muy complejos como consecuencia de la existencia de múltiples variables de las que dependen los resultados de dichos métodos, aun así, se desconoce el método que ofrezca resultados perfectos; sin embargo, existe la posibilidad de seleccionar alguno según sea la necesidad.

Una vez obtenidas las proporciones óptimas de cemento, agregados y agua, procede con la elaboración de los bloques de concreto.

5.1 MÉTODO DE DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS

Para encontrar el diseño óptimo de la mezcla para la producción de los bloques de concreto, se implementará el método de ensayo y error, por medio del cual, se encuentra la mezcla ideal que cumpla con las características de los

materiales empleados. Para esto se realizan muestras cúbicas de cada tipo de material y se ensayan a 3, 7 y 14 días con sus respectivas proyecciones de resistencia a los 28 días, comparando los resultados con los esperados, se realizan las correcciones pertinentes, hasta obtener los resultados óptimos.

5.1.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

El método de diseño implementado en esta investigación es el del American Concrete Institute-ACI, por ser el más conocido y utilizado para la fabricación de concretos en nuestro medio.

Este procedimiento considera nueve pasos para el proporcionamiento de mezclas de concreto normal, incluidos el ajuste por humedad de los agregados y la corrección a las mezclas de prueba. Los pasos son los siguientes:

- ❖ **Selección del asentamiento o *Slump*.** Cuando no se especifica, el ACI incluye una tabla en la que se recomiendan diferentes valores de acuerdo con el tipo de construcción. Se recomienda valores entre 1 y 2 pulgadas.
- ❖ **Elección del tamaño máximo nominal del agregado.** Basados en los requerimientos de resistencia, el tamaño máximo del agregado grueso es dado en la siguiente tabla, dada por el ACI:

Resistencia requerida del concreto (Kg/cm ²)	Tamaño máximo del agregado
< 630	3/4" - 1"
> 630	3/8" - 1/2"

Tabla 5.1- Elección del tamaño máximo nominal del agregado.

- ❖ **Cálculo de agua de mezclado y contenido de aire.** La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida para producir un *slump* dado, es dependiente del tamaño máximo, forma de las partículas, gradación del agregado, cantidad de cemento y tipo de plastificante usado. En la siguiente Tabla 5.2, suministrada por el ACI,

se da una primera estimación del agua de mezclado requerida para concretos elaborados con agregados de tamaño máximo entre 1" y 3/8". Esta cantidad de agua es estimada sin la adición del aditivo. En la misma tabla también se da los valores estimado de aire atrapado.

Slump	Agua de mezclado en Kg/m3 para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
1"-2"	183	174	168	165
2"-3"	189	183	174	171
3"-4"	195	189	180	177
Aire Atrapado				
Sin superplastificante	3	2.5	2	1.5
Con superplastificante	2.5	2	1.5	1

Tabla 5.2- Asentamientos permitidos.

- ❖ **Selección de la relación Agua/Cemento.** El ACI proporciona una tabla con los valores máximos recomendados para la relación agua/cemento, mostrados en función del tamaño máximo del agregado para alcanzar diferentes resistencias a compresión en 28 o 56 días. La tabla es la siguiente:

Resistencia promedio f'_{cr} Kg/cm2	Edad (días)	Relación a/cm para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
		3/8"	1/2"	3/4"	1"
500	28	0.41	0.40	0.39	0.38
	56	0.44	0.43	0.42	0.42
550	28	0.36	0.35	0.34	0.34
	56	0.39	0.38	0.37	0.36
600	28	0.32	0.31	0.31	0.30
	56	0.35	0.34	0.33	0.32
650	28	0.29	0.28	0.28	0.27
	56	0.32	0.31	0.30	0.29
700	28	0.26	0.26	0.25	0.25
	56	0.29	0.28	0.27	0.26

* La resistencia promedio deberá ser reajustada para usar esta tabla con un valor de 0.9

Tabla 5.3- Relación agua/cemento.

- ❖ **Cálculo del contenido del cemento.** El contenido de cemento se calcula con la cantidad de agua, determinada en el paso tres y la relación agua/cemento, obtenida en el paso cuatro; cuando se requiera un contenido mínimo de cemento o los requisitos de durabilidad lo especifiquen, la mezcla se deberá basar en un criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento, esta parte constituye el quinto paso del método.
- ❖ **Estimación del contenido de agregado grueso.** El óptimo contenido de agregado grueso depende de su resistencia característica y del tamaño máximo, además del módulo de finura de la arena. El contenido óptimo recomendado de agregado grueso, expresado como una fracción del peso unitario compactado, está dado en la Tabla 5.4 suministrada por el ACI. Dicha tabla, arroja resultados como una función del tamaño máximo nominal.

Tamaño nominal máximo	3/8"	1/2"	3/4"	1"
Fracción volumétrica Psag	0.65	0.68	0.72	0.75

Tabla 5.4- Estimación del contenido de agregado grueso.

- ❖ **Estimación del contenido de agregado fino.** Este contenido se calcula por diferencia y se puede emplear cualquiera de los dos procedimientos siguientes: por peso o por volumen absoluto.
- ❖ **Ajustes por humedad del agregado.** Este paso consiste en ajustar las mezclas por humedad de los agregados. El agua que se añade a la mezcla se debe reducir en cantidad igual a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir: humedad total menos absorción.
- ❖ **Ajustes en la mezclas de prueba.** Se debe verificar el peso volumétrico del concreto, su contenido de aire, la trabajabilidad apropiada mediante el *slump* y la ausencia de segregación y sangrado, así como las propiedades de acabado. Para correcciones por diferencias en el *slump*, en el contenido de aire o en el peso unitario del concreto, el

informe ACI 211.1-91 proporciona una serie de recomendaciones que ajustan la mezcla de prueba hasta lograr las propiedades especificadas en el concreto.

5.1.1.1 Diseño de la mezcla por el Método ACI

Esta metodología de diseño es desarrollada con la caracterización conjunta de los agregados gruesos y finos reciclados, por lo que los resultados obtenidos serán de carácter estimativo y deben ser corroborados obligatoriamente en el laboratorio .

El objetivo es diseñar un concreto de alta trabajabilidad. La resistencia especificada a los 28 días es de 42 Kg/cm². El tamaño mayor del agregado no debe exceder 3/8 de pulgada.

Los análisis de laboratorio para los agregados nos arrojaron los siguientes resultados:

AGREGADO		
Peso específico	2.415	Kg/m3
Peso unitario compactado	1362.38	Kg/m3
Contenido de humedad (A. Fino)	6.38	%
Absorción (A. Fino)	3.57	%
Contenido de humedad (A. Grueso)	1,70	%
Absorción (A. Grueso)	2,38	%

Tabla 5.5- Resultados arrojados por ensayos.

Selección del asentamiento o *slump*.

Se escoge un asentamiento moderado para el experimento. En este trabajo se manejarán asentamientos de 1" o 2.54 cm. Se calcula la resistencia promedio del concreto a los 28 días con la siguiente ecuación,

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 70}{0.9}$$

$$f'_{cr} = \frac{42 + 70}{0.9} = 124.44 \text{ Kg/cm}^2$$

Elección del tamaño máximo nominal del agregado.

Como se especificó en el inicio de este método, el tamaño máximo del agregado será de 3/8 de pulgada.

Cálculo de agua de mezclado y contenido de aire.

Según la Tabla 5.2, dada por el ACI, se estima que el agua de mezclado requerida es de 183 Kg/m^3 y el contenido de aire es del 3%.

Se calculará el contenido de arena de la siguiente manera,

$$V = \left(1 - \frac{\text{Peso unitario seco}}{\text{Peso específico} \times 10^{-3}} \right) * 100$$

$$V = \left(1 - \frac{1362.38}{2.415 \times 10^{-3}} \right) * 100$$

$$V = 43.58\%$$

Ajustamos el agua de mezclado como sigue:

$$A = 4.72(V - 35)$$

$$A = 40.49 \text{ Kg/m}^3$$

Por consiguiente, el agua de mezclado será:

$$W = 183 + 40.49 = 223.49 \text{ Kg}$$

Selección de la relación Agua/Cemento.

De la Tabla 5.3, anteriormente descrita, se obtienen la relación A/C. La relación dada, una vez se ajustó la resistencia promedio encontrada previamente, fue de 1.03.

Calculo del contenido del cemento.

Conociendo el contenido de agua, y el contenido de la relación A/C, podemos obtener el contenido del cemento.

$$\text{Contenido de Cemento} = \frac{223.49}{1.03} = 216.98 \text{ Kg}$$

Estimación del contenido de agregado grueso.

De la Tabla 5.4 previamente suministrada, obtenemos el volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto. El valor es 0.65.

El peso seco del agregado grueso por M^3 de concreto es:

$$W_{seco} = (\%Vol) * \text{Peso seco compactado.}$$

$$W_{seco} = 0.65 * 1362.38 = 885.55 \text{ Kg}$$

Estimación del contenido de agregado fino.

Como ya tenemos la cantidad en Kg del cemento, del agua, y del agregado grueso, la cantidad del agregado fino será la cantidad restante, para completar un m^3 de concreto.

CEMENTO	0,068	M^3
AGREGADO GRUESO	0,366	M^3
AGUA	0,223	M^3
AIRE	0,030	M^3
Suma	0,687	M^3
AGREGADO FINO	0,313	M^3

Tabla 5.6. Estimación del contenido de agregado fino.

Por ende, la cantidad de agregado fino por m^3 será,

$$0.313 * 2.415 * 1000 = 755.89 \text{ M}^3$$

Las proporciones de mezcla en peso serán:

CEMENTO	216,98	Kg
AGREGADO GRUESO	885,55	Kg
AGUA	223,49	Kg
AGREGADO FINO	755,89	Kg
PESO TOTAL	2081,91	Kg

Tabla 5.7-Pesos de materiales por unidad de volumen.

Ajustes por humedad del agregado.

Corregimos el contenido de agregado considerando su contenido de humedad.

$$\text{Agregado Grueso corregido} = 885.55(1 + 0.017) = 900.60Kg$$

$$\text{Agregado Fino corregido} = 755.89(1 + 0.0638) = 804.11Kg$$

También se debe corregir el agua de mezclado, tomando en cuenta la absorción de los agregados. Se procede de la siguiente forma:

$$\text{Agua corregida} = 223.49 - 755.89(0.0638 - 0.0357) - 855.55(0.017 - 0.0238)$$

$$\text{Agua corregida} = 208.06Kg$$

5.2 ELABORACIÓN DE MUESTRA CÚBICAS

Por comodidad durante el proceso de determinación de la mezcla ideal se realizaron cubos, los cuales serán ensayados a compresión.

Se realizaron 12 muestras cúbicas por mezcla (según el incremento de cemento en la mezcla). Por cada edad (3, 7, 14 y 28 días) se hicieron 3 cubos. Por ende, elaboramos 48 muestras cúbicas.

Al trabajar las muestras cúbicas que son ensayadas de manera similar a los cilindros, es necesario realizar una corrección según las recomendaciones de las normas NTC 3658 y NTC 673.

Los resultados arrojados por los cubos, se muestran a continuación,

RESISTENCIA IDEAL A DIFERENTES EDADES					
EDAD DE LA PROBETA (días)	RESISTENCIA IDEAL (Kg/Cm2)	RESISTENCIA EXPERIMENTAL DISEÑO DE MEZCLA ORIGINAL(Kg/Cm2)	RESISTENCIA EXPERIMENTAL DISEÑO DE MEZCLA + 10% (Kg/Cm2)	RESISTENCIA EXPERIMENTAL DISEÑO DE MEZCLA + 15% (Kg/Cm2)	RESISTENCIA EXPERIMENTAL DISEÑO DE MEZCLA + 20% (Kg/Cm2)
3	16,8	23,88	21,58	23,00	25,76
7	25,2	28,7	25,9	27,6	29,6
14	33,6	40,4	36,5	38,9	41,8
28	42	44,6	43,5	43,0	49,7

Tabla 5.8- Resistencia ideal a diferentes edades

Los valores estadísticos son los siguientes,

VALORES ESTADISTICOS POR EDADES			
EDAD	MEDIA ARITMETICA (KG/Cm2)	DESVIACION ESTANDAR	VARIANZA
3	23,55	1,75	3,1
7	27,94	1,60	2,55
14	39,40	2,25	5,07
28	45,20	3,08	9,48

Tabla 5.9- Valores estadísticos

Ingresando estos valores y graficándolos, arroja el siguiente gráfico,

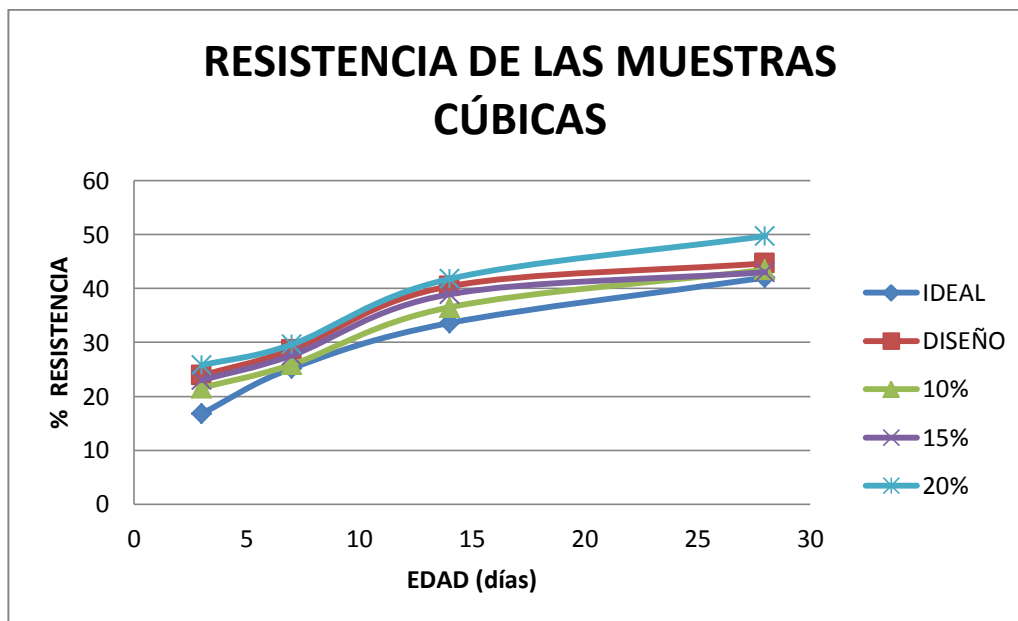


Ilustración 6- Resistencia de las muestras cúbicas.

El concreto elaborado tradicionalmente, con agregados naturales, cemento y agua, presenta una curva típica de sus resistencias en el tiempo, de la edad en días vs. % de resistencias a compresión.

Esta curva servirá para tener un estimativo de la resistencia teórica que debe alcanzar el hormigón.

Dicha curva, junto con los valores óptimos se muestran a continuación,

RESISTENCIA IDEAL A DIFERENTES EDADES	
EDAD DE LA PROBETA (días)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (%)
1	12
3	40
7	60
14	80
28	100
56	110
90	120
180	125

Tabla 5.10- Resistencia Ideal a diferentes edades.

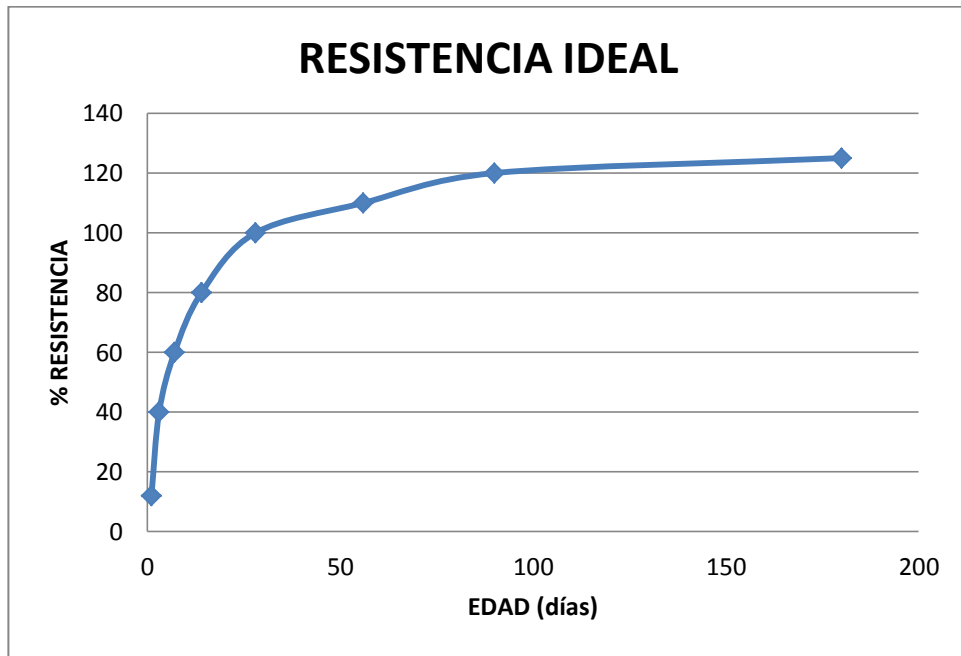


Ilustración 7- Resistencia Ideal

5.2.1 Proyección de edades en las muestras

Aunque la exigencia para obtener resultados del comportamiento del concreto es a los veintiocho (28) días, se pueden obtener resultados utilizando un método más práctico y eficaz proyectando todas las muestras a los veintiocho (28) días, implementando formulas empíricas, ya conocidas.

5.2.1.1 Proyección a la edad de tres (3) días

Se puede proyectar la resistencia a compresión de las muestras, por medio de la siguiente expresión propuesta del profesor Sandino:

$$R_{28} = R_3 + 65 (R_3)^{1/2}$$

R_{28} = Resistencia probable a la compresión a 28 días, en PSI

R_3 = Resistencia a la compresión a los 3 días, en PSI

5.2.1.2 Proyección a la edad de Siete (7) días

Se puede proyectar la resistencia a compresión de las muestras, por medio de la siguiente fórmula de Slater:

$$R_{28} = R_7 + K(R_7)^{1/2}$$

R_{28} = Resistencia probable a la compresión a 28 días, en PSI

R_7 = Resistencia a la compresión a los 7 días, en PSI

K = Constante que depende del tipo de cemento utilizado en la mezcla.

El valor de K , para el cemento Argos es de 30.

5.2.1.3 Proyección a la edad de Catorce (14) días

Se puede proyectar la resistencia a compresión de las muestras, por medio de la siguiente fórmula:

$$R_{28} = 1,16 * R_7$$

R_{28} = Resistencia probable a la compresión a 28 días, en PSI

R_7 = Resistencia a la compresión a los 14 días, en PSI

5.2.1.4 Análisis de resultados

Claramente se observa una muy buena resistencia a la edad de 3 días superando ampliamente el porcentaje esperado para esta edad, cabe notar que aunque se mantuvo la superioridad en la resistencia para las otras edades esta no fue tan alarmante como la edad en mención.

6. PRODUCCIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO CON AGREGADOS RECICLADOS

Con el diseño de mezcla óptimo para la realización de los bloques de concreto con agregados reciclados, se inicia el procedimiento de producción.

Antes de nombrar y explicar de manera detallada, los pasos empleados para la fabricación de los bloques de concreto, se debe recalcar la necesidad de buscar un buen espacio de trabajo, el cual brinde unas condiciones básicas que permitan garantizar la obtención de buenos productos. Así pues, debe ser un lugar cubierto para proteger del sol, la lluvia y del viento, el área de elaboración del producto, la del curado, e inclusive, una parte, al menos, de la del almacenamiento [11].

Para un perfecto desarrollo de una planta de producción de bloques, y en general de prefabricados de concreto, e independiente del tamaño de la misma, se deben identificar claramente tres sectores o zonas, que son:

La Zona de materiales (recepción y almacenamiento).

La Zona de producción.

La Zona de almacenamiento y despacho del producto.

6.1 FABRICACIÓN

Las formas y tamaños de los bloques comunes de concreto han sido estandarizados para asegurar una uniformidad en las construcciones. El tamaño más común en las construcciones, hablando de bloques de concreto es referido a aquel con las siguientes medidas nominales: 14 x 22 x 40, y que incluye una cama de mortero de concreto.

El proceso de producción de bloques de concreto consiste en seis etapas básicas fundamentales: dosificación, mezclado, moldeado, fraguado, curado y almacenamiento.

6.1.1 Dosificación.

La dosificación es el término que se utiliza para definir las proporciones de agregados, agua y cemento que conforman la mezcla para la elaboración de la unidad. Dicha dosificación o proporcionamiento de los materiales se hará por unidad de volumen y se hará teniendo en cuenta la resistencia que buscamos, la textura deseada, la procedencia de los materiales y el factor económico.

Esta dosificación ya fue debidamente explicada y argumentada en capítulos anteriores, en este mismo trabajo.

6.1.2 Mezclado.

En esta etapa de la producción, podemos discriminar en dos tipos de mezclado:

Mezclado manual. Una vez definido la mezcla, se acarrea los materiales al área de mezclado. En primer lugar se dispondrá de arena, luego, encima el agregado grueso; seguidamente se agregará el cemento, realizando el mezclado en seco. Será preciso realizar por lo menos dos vueltas de los materiales. Después del mezclado se incorpora el agua en el centro de la mezcla obtenida, luego se cubre el agua con el material seco de los costados, para luego mezclar todo uniformemente. La mezcla húmeda debe voltearse por lo menos tres veces.

Mezclado mecánico. Para mezclar el material utilizando mezcladora (tipo trompo) se debe iniciar mezclando previamente en seco el cemento y los agregados en el tambor, hasta obtener una mezcla de color uniforme; luego se agrega agua y se continua la mezcla húmeda durante 3 a 6 minutos. Si los agregados son muy absorbentes, incorporar a los agregados la mitad o los 2/3 partes de agua necesaria para la mezcla antes de añadir el cemento; finalmente agregar el cemento y el resto del agua, continuando la operación de 2 a 3 minutos.

El mezclado usado en este trabajo, fue manual y acorde a lo estipulado anteriormente.

6.1.3 Moldeado.

Obtenida la mezcla, se procede a disponerla dentro del molde metálico colocado sobre la mesa vibradora; el método de llenado se debe realizar en capas y con la ayuda de una varilla se puede acomodar la mezcla. El vibrado se mantiene hasta que aparezca una película de agua en la superficie, luego del mismo se retira el molde de la mesa y se lleva al área de fraguado. En forma vertical se desmolda el bloque.

La vibración, que es el método de asentamiento práctico que consiste en someter al concreto a una serie de sacudidas con cierta frecuencia, es de suma importancia.

Esto hace que el concreto sufra un proceso de acomodo, asentándose uniforme y gradualmente, reduciendo notablemente el aire atrapado.

Una buena vibración hecha por la máquina, garantizará en el concreto, buen desempeño en sus características definidas como lo son la resistencia mecánica, compacidad y buen acabado.

Un concreto bien vibrado, poseerá las siguientes propiedades:

Compacidad

Al amasar un concreto se emplea una cantidad de agua superior a la que el cemento necesita para su perfecta hidratación y que es muy inferior al volumen de agua empleado normalmente en el amasado. Absorbida el agua de combinación por el cemento, la cantidad restante, y que se añade exclusivamente para dar trabajabilidad al concreto, tiende a evaporarse, dejando de ese modo una gran cantidad de poros, resultando un concreto con una compatibilidad más o menos acusada, según sea la cantidad de agua evaporada. Esta situación trae como exigencia la necesidad de reducir en lo

posible la cantidad de agua de amasado con el fin de conseguir un concreto de gran compacidad.

Impermeabilidad

La impermeabilidad de un concreto es función de su compacidad. La granulometría juega un papel importante en la impermeabilidad. Con una granulometría continua y un elevado nivel de cemento, completados por una enérgica vibración, se obtiene un concreto altamente impermeable. La absorción de humedad del concreto vibrado es aproximadamente la mitad de la correspondiente al concreto ordinario.

Resistencia mecánica

La resistencia mecánica del concreto es quizás el factor más importante dentro de las propiedades del mismo. La resistencia del concreto aumenta considerablemente si se aplica una vibración intensa.

Resistencia a la abrasión y congelamiento

La resistencia del concreto vibrado a las acciones extremas se deriva de su propia compacidad; la resistencia al desgaste es mayor. Otra ventaja es su resistencia a las heladas por tener menos agua de amasado y ser más compactos.

Desmolde rápido

En la fabricación de elementos prefabricados de concreto vibrado puede conseguirse un desmolde inmediato si el concreto es de granulometría adecuada y se ha amasado con poco agua. Si al efectuar esta operación la pieza rompe, se puede afirmar que la causa se encuentra en un exceso de agua o material fino. La rotura puede sobrevenir también al no estar suficientemente consolidado el concreto, es decir, la vibración ha sido de poca duración.

NOTA: Un bloque vibrado con mesa vibratoria, obtiene más del doble de resistencia a la Compresión, que uno vibrado manualmente.

6.1.4 Fraguado.

Una vez fabricados los bloques, éstos deben permanecer en un lugar que les garantice protección del sol y de los vientos, con la finalidad de que puedan fraguar sin secarse.

El periodo de fraguado debe ser de 4 a 8 horas, pero se recomienda dejar los bloques de un día para otro.

Si los bloques se dejarán expuestos al sol o a vientos fuertes se ocasionaría una pérdida rápida del agua de la mezcla, o sea un secado prematuro, que reducirá la resistencia final de los bloques y provocará fisuramiento del concreto.

Luego de ese tiempo, los bloques pueden ser retirados y ser colocados en rumas para su curado.

6.1.5 Curado.

El curado de los bloques consiste en mantener los bloques húmedos para permitir que continúe la reacción química del cemento, con el fin de obtener una buena calidad y resistencia especificada. Por esto es necesario curar los bloques como cualquier otro producto de concreto.

Los bloques se deben colocar en rumas de máximo cuatro unidades y dejando una separación horizontal entre ellas de dos centímetros, como mínimo, para que se puedan humedecer totalmente por todos los lados y se permitan la circulación de aire.

Para curar los bloques se riega periódicamente con agua durante siete días. Se humedecen los bloques al menos tres veces al día o lo necesario para que no se comiencen a secar en los bordes. Se les puede cubrir con plásticos, papeles o costales húmedos para evitar que se evapore fácilmente el agua.

El curado se puede realizar también sumergiendo los bloques en un pozo o piscina llena de agua saturada con cal, durante un periodo de tres días. Lo más recomendado para el proceso de curado, y también para el almacenamiento, es hacer una tarima de madera, que permita utilizar mejor el espacio y al mismo tiempo evitar daños en los bloques.

6.1.6 Almacenamiento.

La zona de almacenamiento debe ser totalmente cubierta para que los bloques no se humedezcan con lluvia antes de los 28 días, que es su período de endurecimiento. Si no se dispone de una cubierta o techo, se debe proteger con plástico.

Aunque los bloques fabricados siguiendo todas las recomendaciones, presentan una buena resistencia, se debe tener cuidado en su manejo y transporte. Los bloques no se deben tirar, sino que deben ser manipulados y colocados de una manera organizada, sin afectar su forma final.

6.2 MAQUINARIA UTILIZADA

Para la fabricación de los bloques de concreto se utiliza una máquina fabricadora de Bloques marca Metalsander Ltda., ubicada en el laboratorio de la escuela de Ingeniera de materiales, con las siguientes características:



Ilustración 8- Máquina fabricadora de bloques.

CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA	
PRODUCCIÓN	250 TARIMAS EN TURNO DE 8 HORAS
MESA VIBRATORIA	55 X 60 CM
MOTOR	2 HP A 3600 REVOLUCIONES POR MINUTO
CORRIENTE	DOMICILIARIA, 110 V (POCO CONSUMO)
INSTALACIÓN	FÁCIL Y RÁPIDA, DEMANDA POCO ESPACIO
FABRICACIÓN	EN ACERO ESTRUCTURAL CON MÍNIMO MANTENIMIENTO
OPERACIÓN	SENCILLA, CON UNA SOLA PERSONA
DESMOLDE	MANUAL, POR MEDIO DE PALANCA
VIBRADOR	POTENTE, EXCÉNTRICO DANDO UNA EXCELENTE RESISTENCIA
DIMENSIONES	LARGO: 1.20 mts ANCHO: 0.80 mts ALTURA: 1.50 mts

Tabla 6.1- Características de Máquina Vibrobloquera [13]

6.3 PROCESO DE PRODUCCIÓN

Para la producción de los bloques de concreto con agregados reciclados de concreto, se realiza el siguiente procedimiento recomendado por el ICPC en su Nota Técnica.

Se describirá, paso a paso y de manera detallada, dicho proceso.

Paso 1. Pesar las cantidades de agregados, cemento y agua.

Según el diseño de mezcla ya hecho de manera previa, se procede a pesar cada uno de los materiales presente en la mezcla. Esta medida se toma con la balanza electrónica dotada por la Universidad, que tiene precisión de tres decimales.

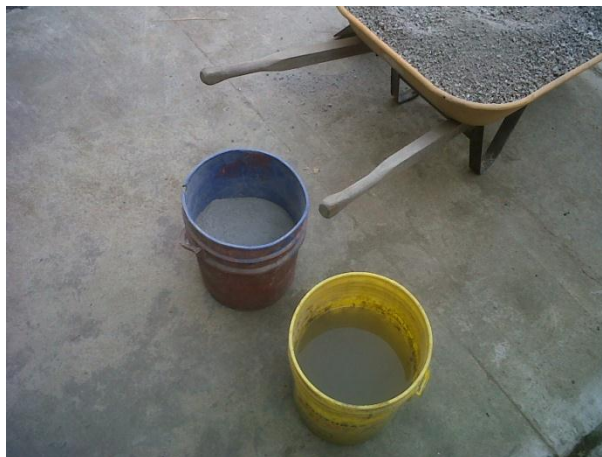


Ilustración 9- Materiales antes de mezclarlos.

Paso 2. Mezclado de materiales.

Una vez están debidamente pesados los materiales a usar, se procede a mezclar hasta tener una mezcla consistente.



Ilustración 10- Proceso de mezcla.

Paso 3. Incursión de la mezcla en la máquina y Vibrado

La mezcla es llevada a la tolva rodante de la máquina, para un primer vertimiento. Una vez la mezcla esté en la tolva, con la palanca lateral que hace trabajar dicha tolva, se vierte el material en la cavidad principal de la Vibrobloquera.

Con dicha cavidad llena hasta al tope, se hace vibrar la máquina por 20 segundos, en promedio.



Ilustración 11- Incursión de mezcla en máquina fabricadora de bloques.

Este paso se hace dos veces. Una vez vibrado por primera vez, se agrega más material en la tolva, se vuelve a llevar a la cavidad principal, y se vibra por segunda vez. Esta vez la vibración es un poco más extensa y se hace hasta que el tope de la palanca principal lo permita.

Paso 4. Desmolde de los bloques.

Una vez se haya hecho el segundo vibrado y esté todo listo para el desmolde, con la palanca de extracción de molde (que se mostrará en la siguiente imagen), se procede a culminar el proceso.

Mientras se acciona la palanca que extraerá el molde, se debe garantizar que dicho molde no se devuelva, aprisionado el tope de la palanca principal como se observa en la figura.



Ilustración 12- Proceso de desmolde de bloques.

Paso 5. Extracción de bloques.

Ya desmoldado los bloques de manera satisfactoria, se extraen de la máquina y se disponen en un lugar seco y limpio.



Ilustración 13- Producto final

Paso 6. Fraguado

Ubicados los bloques en un lugar apto, deberán dejarse al aire libre en un lapso de mínimo ocho horas. Lo recomendado es dejarlo veinticuatro horas, para que tenga un mejor fraguado.

Se deberán tapar para evitar un contacto excesivo con el sol y con el aire. Esto para evitar un secado prematuro, que reduciría la resistencia final de los bloques y provocará fisuramiento del concreto.



Ilustración 14- Proceso de fraguado de los bloques.

Paso 7. Curado.

Para el proceso de curado de los bloques, se realizó de manera tradicional, siguiendo las especificaciones de la NTC 1377.

Los bloques se sumergieron en agua con cal después de un período de veinticuatro (24) horas de estar al aire libre (periodo de fraguado). El agua donde estarán albergados los bloques, deberá estar a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.



Ilustración 15- Proceso de curado

Con el Diseño de Mezcla ya establecido, y que ya se explicó en este documento, se procede a incrementar el valor dado de Cemento y Agua, en un 10, 15 y 20 por ciento.

Por ende, el proceso que se acabó de explicar para la elaboración de bloques de concreto, se debió hacer tres veces. Por cada iteración del proceso, se hicieron tres especímenes.

6.3.1 CAPINADO DE BLOQUES.

El capinado o refrentado, es el proceso que proporciona una correcta distribución de esfuerzos en el momento que le aplique la carga de compresión en los ensayos posteriores, haciendo que las superficies de los bloques, estén totalmente planas.

En este caso se hizo con azufre, aunque existen en el medio varios materiales que pueden desempeñar la misma función.

6.3.1.1 PROCEDIMIENTO

En una base metálica de mayor tamaño que la sección principal del bloque (ver ilustración 16), se riega azufre en esta líquido hasta llenar unos 10 mm de la misma.



Ilustración 16- Base para capinar.

El azufre viene en polvo, pero con el calor suministrado por una estufa pequeña, en menos de cinco minutos, un kilo se vuelve líquido.

Inmediatamente es echado el azufre a la base, se sumerge en él, el bloque de concreto. Estando el bloque en la base, se nivela con un nivel de mano para que quede en un plano horizontal. Esto se hace en ambas caras.



Ilustración 17- Bloques capinados.

6.4 ENSAYOS Y RESULTADOS

Los bloques se evaluarán, según lo exigido por la NTC-4026- Bloques de Concreto para mampostería estructural.

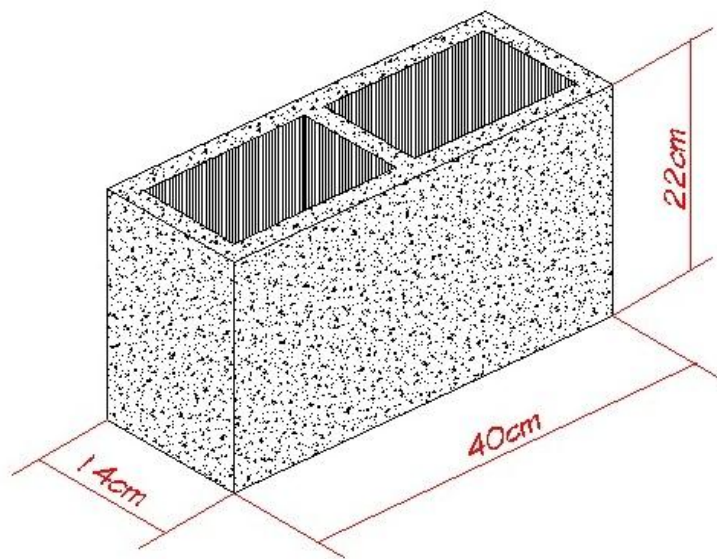


Ilustración 18- Bloque de concreto estructural.

Como primer paso se deben medir todos los bloques a ensayar, con un calibrador de regla y aguja con divisiones cada 0.1 mm.

Cuando un bloque llega hasta esta instancia, es porque está perfectamente elaborado y es apto para que se le realice los ensayos finales.

Con todos los bloques debidamente curados y, además de eso, capinados, se llevaron a cabo los ensayos a Compresión.

6.4.1 ENSAYO A COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES DE CONCRETO

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado. La forma de expresarla es en términos de esfuerzo.

Máquina Universal

La máquina universal es una máquina semejante a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción y compresión para medir sus propiedades. La presión se logra mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o un sistema hidráulico. Esta máquina es ampliamente utilizada en la caracterización de nuevos materiales. Se muestra a continuación,



Ilustración 19- Máquina Universal

Una vez se acciona la máquina, la platina superior móvil se acomoda a la sección superior del bloque.

Cuando la platina está adherida a dicha sección, se procede a aplicarle la carga al elemento.



Ilustración 20. Bloque en el momento del ensayo

A medida que la carga va aumentando, el bloque va cediendo hasta que ocurre la falla. Esto se puede ver claramente en las siguientes figuras.



Ilustración 21- Bloques en el momento de la ruptura

6.4.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LOS BLOQUES

Propiedades mecánicas para los Bloques con 10% más de cemento y agua					
EDAD	AREA (Cm2)	FUERZA (Lbs)	RESISTENCIA (Kg/Cm2)	PESO (Kg)	ABSORCION (%)
3	220	7894.5	16.3	12.91	16.3
7	220	11836.7	24.5	12.93	17.2
14	220	14890.5	30.8	13.13	17.1
Propiedades mecánicas para los Bloques con 15% más de cemento y agua					
EDAD	AREA (Cm2)	FUERZA (Lbs)	RESISTENCIA (Kg/Cm2)	PESO (Kg)	ABSORCION (%)
3	220	8955.4	18.5	12.72	16.3
7	220	12304.4	25.4	13.01	17.2
14	220	17472.2	36.1	13.15	17.1
Propiedades mecánicas para los Bloques con 20% más de cemento y agua					
EDAD	AREA (Cm2)	FUERZA (Lbs)	RESISTENCIA (Kg/Cm2)	PESO (Kg)	ABSORCION (%)
3	220	10205.5	21.1	12.72	16.3
7	220	12895.6	26.6	13.05	17.2
14	220	20150.5	41.63	13.63	17.1

Tabla 6.2- Resumen de las propiedades mecánicas

6.4.2 ABSORCIÓN Y DENSIDAD

Para realizar esta prueba todos los bloques deben ponerse a secar en un horno a temperatura de más de 110°C durante 24 horas o hasta alcanzar un peso constante, luego se retiran del horno y se sumergen en agua nuevamente durante 24 horas hasta alcanzar un peso constante. Por último se toma su masa inmersa en agua y suspendida, se debe secar superficialmente para obtener su masa saturada húmeda.

Para obtener la densidad es necesario pesar cada uno de los adoquines a ensayar, los resultados fueron consignados en la Tabla 6.2

7. CONCLUSIONES

- ❖ Para fines granulométricos, el proceso de trituración de los agregados es de suma importancia, pues de él depende gran parte de los resultados finales.
- ❖ Debido a que se está trabajando con agregados reciclados estos tienden a tener menor resistencia a la compresión lo que hace que aumentemos la cantidad de cemento en la mezcla pero manteniendo una igual relación agua cemento.
- ❖ Se observó que incrementando la cantidad de cemento y agua en un 5% y 10% no se obtuvo los valores esperados y se empezó a evidenciar claramente que la resistencia aumentaba para un 15% y 20%.
- ❖ El uso de escombros de la construcción y demolición para su reutilización en la misma industria de la construcción, es una nueva alternativa que no solo implementaría tecnologías limpias, sino que reduciría el impacto ambiental producido por la disposición final de los desechos de la construcción.
- ❖ Para alcanzar la granulometría adecuada en este proyecto de grado fue necesario pasar el material un mínimo de tres (3) veces por la trituradora, lo que hace el proceso mucho más lento.
- ❖ Queda evidenciado, que los escombros dejados por la construcción es muy buena materia prima. Deja buenos resultados técnicos, además de ecológicos y económicos.
- ❖ Para la elaboración de los bloques de concreto con agregados reciclados, no se requiere mucha tecnología. Con un buen espacio de trabajo y con las ganas de obtener mejoras constructivas y ecológicas, se puede hacer mucho.

- ❖ Como se manifestó en el documento, el buen comportamiento del Bloque una vez curado, se debe en buena medida a una buena vibración en el momento de su elaboración. Pero también es pertinente manifestar que el exceso de vibración puede causar un atascamiento dificultando la salida del molde y creando en la máquina un esfuerzo extra.
- ❖ A pesar de obtenerse aparentemente una textura irregular, esta no afecta el análisis del comportamiento mecánico del bloque.
- ❖ El concreto como material reciclado presenta muy poco contenido de materia orgánica.
- ❖ El uso de muestras cubicas como ensayo experimental hace el procedimiento mucho más corto y no hace necesario el uso de un diseño de experimento para llegar a un diseño que nos arroje la resistencia requerida.
- ❖ Al momento de realizar la mezcla para bloques se debe tener mucho cuidado ya que en comparación con una mezcla de concreto normal es mucho menos húmeda y esto hace más difícil su manejo.
- ❖ La producción del bloque como tal a veces se hace lenta ya que el bloque sale débil después del desmolde y toca dejarlo en sitio por un tiempo, hasta que la mezcla empieza a reaccionar.
- ❖ Se cumplió con el objetivo del proyecto ya que además de identificar las propiedades del bloque con material reciclado.
- ❖ Los resultados obtenidos en los ensayos finales, demostraron que los bloques elaborados en este trabajo, solo se podrían utilizar para casas de uno o dos pisos.

8. RECOMENDACIONES

- ❖ Esta investigación arrojó resultados prometedores en cuando a la utilización de los escombros constructivos como agregados. Se puede pensar en utilizar dichos agregados, no solo en la elaboración de Bloques de concreto, pues se puede pensar en adoquines, morteros y demás.
- ❖ Al ser, además de tesistas, obreros en la parte constructiva, vale acotar y señalar lo importante que es trabajar en lugares secos y limpios. Esto genera mucha más eficacia y mejores resultados en los ensayos finales.
- ❖ Este es solo el comienzo de algo que puede ser beneficioso en muchos aspectos, tales como técnicos, ecológicos y económicos. Es recomendable seguir buscando fuentes de información, además de patrocinios, para darle forma a esta gran idea.
- ❖ Como se dijo antes, el proceso granulométrico es de suma importancia en los resultados finales. Si se quiere llegar, de manera óptima y fácil, a una granulometría ideal, no es conveniente trabajar con la Trituradora de Mandíbulas. Con esta, para llegar al resultado deseado, se debió repetir el proceso muchas veces, lo cual deja pérdida de tiempo y de energía.
- ❖ Al estudiar sobre agregados reciclados, y siendo este una solución para un problema medioambiental, se deberá buscar la forma de adecuar un lugar, apto y amplio para el acopio de los escombros.
- ❖ El estudio arrojó buenos resultados a temperaturas normales, con condiciones ambientales convencionales. Sería bueno ver el comportamiento de los Bloques de Concreto bajo condiciones ambientales agresivas, para poder dar una conclusión mucho más amplia.

- ❖ El problema ecológico dejado por la mala manipulación y la mala ubicación de estos desechos constructivos, es, primordialmente, problema municipal. Sería muy interesante debates y reuniones con entes ambientales y municipales, para darles a conocer los estudios hechos y mirar a futuro la implementación estatal.
- ❖ Si se desea utilizar estos bloques, no solo para viviendas o edificaciones de uno y dos pisos, si no en muchas más construcciones donde se requiera más resistencia a la compresión, se puede pensar en no usar este agregado reciclado en un 100% sino en mezclarlo con agregados convencionales, en diferentes proporciones.

9. REFERENCIAS

- [1] Asociación Colombiana de Productores de Concreto-ASOCRETO. (2002). *Tecnología y propiedades* (Segunda edición ed., Vol. Colección básica del concreto I).
- [2] BEDOYA MONTOYA, Carlos Mauricio, EL CONCRETO RECICLADO CON ESCOMBROS COMO GENERADOR DE HÁBITATS URBANOS SOSTENIBLES "La ciudad como ecosistema semi-cerrado, una utopía cultural". Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Julio de 2003.
- [3] LAURA HUANCA, Samuel, "DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO", Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, Marzo de 2006.
- [4] "PROTOCOLO PARA EL MANEJO DE ESCOMBROS Y MATERIALES SOBRANTES DE CONSTRUCCIÓN" 2003
- [5] ACOSTA M. "EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UNA MICROEMPRESA DE RECICLAJE DE ESCOMBROS", tomado del II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de residuos, Septiembre 2009.
- [6] MARMOLEJO, Luis Fernando. "CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN LOCAL: UNA HERRAMIENTA BÁSICA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS RESIDENCIALES" Agosto de 2010
- [7] "Organismo Nacional de Normalización y certificación de la Construcción y edificación".
- [8] "INSTITUTO COSTARRICENSE DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO"

- [9] GANDARA, Juan Fernando, "COMPLEJO EDUCATIVO EN CONCRETO PREFABRICADO" Universidad Francisco Marroquín, 2002
- [10] "INSTITUCO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO- ICPC" NOTAS TÉCNICAS, Fabricación de bloques de concreto. Serie 4 – Número 38 – Publicación 858.
- [11] "ELABORACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO Usando Vibrobloquera Austera de Tarima". Colegio de estudios científicos y tecnológicos del Estado de Chiapas.
- [12] ARRIETA FREYRE, Javier, "FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO CON UNA MESA VIBRADORA" Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Enero de 2001.
- [13] VILLEGAS CÁRDENAS, Ángela Patricia. "COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE ADOQUINES FABRICADOS CON AGREGADOS RECICLADOS" Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Agosto de 2011.

10. ANEXOS

Anexo No.1 Resultados de caracterización de los agregados

NTC 1776. Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad total de los agregados

Este método consiste en someter una muestra de agregado a un proceso de secado y comparar su masa antes y después del mismo para determinar el porcentaje de humedad total. Este método es suficiente exacto para fines usuales, tales como el ajuste de la masa en una mezcla de hormigón.

- W** Contenido de humedad de la muestra, (%).
Masa inicial de la muestra,
H (g).
Masa de la muestra seca,
S (g).

$$W = 100 (H-S)/S$$

	CONCRETO	
W	4.878	%
H	430	g
S	410	g

NTC 237. Método para determinar el peso específico y la absorción de los agregados finos

Este método tiene por objeto, establecer el método para determinar el peso específico (peso de la unidad de volumen del agregado), y la absorción (cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en esta, expresada como un porcentaje del peso seco), del agregado fino.

B	Masa del frasco lleno con agua, (g).	
V	Volumen del frasco,(mm ³)	500
	Masa de la probeta vacía,	
M	(g).	190,4

$$B = 0,9975 V + M$$

B	689,15
----------	--------

D	Densidad aparente,(g/cm ³)
A	Masa en el aire de la muestra secada al horno, (g).
B	Masa del picnómetro lleno con agua, (g).
S	Masa de la muestra saturada y seca superficialmente.
C	Masa del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración, (g)

	CONCRETO	
A	424,6	g
B	484	g
S	500	g
C	984	g

$$D_{s \text{ aparente}} = 0,9975 * A / (B + S - C)$$

CONCRETO
1,824

$$D_{s \text{ aparente (base sss)}} = 0,9975 * S / (B + S - C)$$

CONCRETO
2,147

$$D_{s \text{ nominal}} = 0,9975 * A / (B + A - C)$$

CONCRETO
2,700

$$\text{Absorción, \%} = [(S - A)/A] \times 100$$

CONCRETO
17,758

NTC 176. Método para determinar la densidad y absorción de agregados gruesos

- M** Masa en gramos de la muestra seca, (g).
- M_i** Masa muestra sumergida en agua.
Dada en (g).
- M_s** Masa de la muestra saturada interiormente y seca superficialmente, (g).

	CONCRETO
M	420 g
M_i	360 g
M_s	430 g

$$D_n = \frac{M_s}{M_s - M_i}$$

Concreto
6.142

$$D_a = \frac{M}{M - M_i}$$

Concreto
7.000

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{M_s - M}{M}$$

Concreto
2.380

NTC 92. Método para determinar la masa unitaria de los agregados

Volumen del recipiente	2405 g
-------------------------------	--------

Masa unitaria compacta		
Ladrillo	Concreto	Mixto
6280 g	6500 g	5650 g
6260 g	6499 g	5680 g
6255 g	6490 g	5700 g
6265,00	6496,33	5676,67
2,60	2,70	2,36

M masa unitaria del agregado
(Kg/m³)

G masa del agregado más el
 molde (Kg)
T masa del molde (Kg)
 volumen del molde
V (m³)

	CONCRETO	
M	1,932	g
G	5650	g
T	2405	g
V	1680	g

Anexo No.2 Análisis de Precios Unitarios para un Bloque con agregados reciclados

	RELACION ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS	
CODIGO ITEM	DESCRIPCION ITEM	UND
APU 1	BLOQUE ENTERO 40 X 22 X 15 CM	UND

1.-MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	DESPERD.	PRECIO UNITARIO	VALOR PARCIAL
AGUA	LTS	1.67	0.00%	\$ 12	\$ 20
CEMENTO GRIS	KG	0.98	0.00%	\$ 468	\$ 459
AGREGADO	KG	11.90	0.00%	\$ 0	\$ 0
				SUB-TOTAL	\$ 479
2.-MANO DE OBRA					
MANO OBRA HIDROSANITARIA 1 AYUDANTE	HC	0.25	0.00%	\$ 5.626	\$ 1.407
				SUB-TOTAL	\$ 1.407
3.-EQUIPO					
TRITURADORA DE MANDIBULA	HRA	0.17	0.00%	\$ 398	\$ 66
BLOQUERA	HORA	0.01	0.00%	\$ 398	\$ 3
HERRAMIENTA MENOR	GLB	0.2	0.00%	\$ 1.250	\$ 250
				SUB-TOTAL	\$ 320
4.-ADMINISTRACION-IMPREVISTOS-UTILIDAD					
				SUBTOTAL	
TOTAL PRECIO UNITARIO	\$ 2.205		VALOR REDONDEADO	\$ 2.206.00	

Puesto que el precio promedio en el mercado para un bloque con esas características está entre 2300 y 2400 pesos y teniendo en cuenta que en este análisis se está teniendo en cuenta únicamente el consumo de energía de las maquinas (Trituradora de mandíbula y Bloquera) mas no el precio de la maquina como tal, el precio por unidad se encuentra dentro del rango establecido.